

## H14/A06 音場情報に含まれる個人性の符号化手法に関する研究(共同プロジェクト研究の理念と概要, 共同プロジェクト研究)

雑誌名	東北大学電気通信研究所研究活動報告
巻	11
ページ	96-98
発行年	2005-08
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/30502">http://hdl.handle.net/10097/30502</a>

## 課題番号 H14/A06

# 音場情報に含まれる 個人性の符号化手法に関する研究

## [1] 組織

代表者：高根 昭一（秋田県立大学）

通研対応教官：鈴木陽一

（東北大学電気通信研究所）

分担者：棟方 哲弥（特殊教育総合研究所）、

岩谷 幸雄（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費36万2千円，旅費58万2千円

## [2] 研究経過

音を通じたコミュニケーションにおいて有効なアプローチの一つは、音源からヒトまでの音の伝達をシステムとして考え、そのシステムを合成することにより、ヒトが音を通じて知覚する環境、すなわち音環境を仮想的に生成するというものである。しかし、音の伝達系には、ヒトの頭部・胴体などの形状に起因する個人性の影響が存在する。また、ヒトが日常生活の中で知覚する音像定位や臨場感といった感覚の手掛りとして、このような伝達系がもつ物理的な特徴の影響が大きいことが知られている。これらのことから、音像定位や臨場感といった感覚も、伝達系に含まれる個人性の影響を受けると考えられる。あらゆるヒトが利用できる音場情報のコミュニケーションを考える上で、この個人差を適切にモデル化することが不可欠である。このような問題意識の下に、本プロジェクト研究は、ヒトが音から得る情報(特に空間的な情報)について、音が伝搬する空間をシステムとしてとらえたときの物理的側面と、そのようなシステムを通過した音をヒトが聴取するときの知覚的側面の両面から考察し、ヒトが音から知覚する情報を、その制御に適したかたちで符号化することを目的としている。

高根が研究代表者となった東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究(採択番号：H12/A10)をはじめとした研究により、ヒトが音場において知覚する情報は、ヒトの頭部や胴体などの形状を反映した、ヒトの全周を取り囲む音源それぞれに対する頭部伝達関数(Head-Related Transfer Function, 以後HRTFと書く)と、音場の特性を反映した室内伝達関数(Room Transfer Function, 以後RTFと書く)の従続接続で表現できることが明らかとなってい

る。本研究は、これらの中でHRTFに含まれる個人性を分析し、ヒトが知覚する音場情報を制御するのに適したかたちで符号化することを目指したものである。

平成16年度は、本プロジェクト研究の最終年度であった。第1年度(平成14年度)では、シンポジウムの開催により、本研究の方向性や方針を固めるとともに、HRTFのモデル化について検討を行った。第2年度(平成15年度)は、個人ごとの頭部形状データを光学式の3次元スキャナを用いて計測した。また、それをもとにした境界要素法(Boundary Element Method, 以下ではBEMと書く)によるHRTFの推定手法について検討した。また、前年度に構築されたHRTFの測定系で、全周方向のHRTFを約100名分測定した。さらに、音像定位における被験者の頭部移動の影響についても検討を行った。本年度は、計測されたHRTFのデータベースを用い、HRTFのもつ特徴と各被験者の身体特徴量との関連性について検討するとともに、BEMを用いて推定されたHRTFと実測結果との物理的な比較、および聴取実験を通じた主観的な評価実験も行った。これらの検討を通じて、音源からヒトまでの音響伝達系に含まれる個人性の影響を様々な面から評価し、音響情報通信に適したかたちで符号化するための基礎的な知見が得られた。

## [3] 成果

### (3-1) 研究成果

#### 頭部形状の3次元計測に基づくBEMを用いた個人ごとのHRTFの推定

本プロジェクトでは、可搬性の高い光学式の3次元スキャナを用いた頭部形状の3次元計測システムを構築し、計測された頭部の3次元形状のデータをもとに、BEMを用いたHRTFの推定を行った。HRTFの1~5 kHzの成分を推定結果と実測結果との間で比較したところ、実測結果において存在する個人ごとの頭部形状の違いによるHRTFの変化を、推定結果は大局的には反映できていることがわかった。この結果は、2004年4月に京都で開催された国際音響学会議(International Congress on Acoustics)

で発表した。その後、6 kHzまでに帯域を広げて推定を行った。この際、東北大学の情報シナジーセンターの並列計算機を利用し、並列計算機システムでの計算手法について若干の検討を行った。推定結果と実測結果を比較したところ、上述のものと同様の特徴がみられることがわかった。ただし、HRTFの特性の細部では、方向によっては誤差の大きなところが存在することも判明した。特に、音源方向が聴取者の耳に対して逆側にあるときには、推定結果と測定結果の間には大きな誤差が生じた。この原因としては、推定時には聴取者の胴体、皮膚、着衣の影響を考慮していないことが考えられる。このような影響を考慮するためには、現状で利用できる計算機よりも大規模かつ高速のものが必要であり、またそのような計算機で効率的に動くプログラムを開発する必要もある。これについては、今後の課題として残された。

各被験者の頭部形状のみをデータとして推定されたHRTFと、実測されたHRTFとの差が主観的に有意な差となって表われるのかどうかについて、方向定位実験をとおして考察した。刺激音に、

- a. 被験者本人の頭部形状をもとに推定されたHRTF,
- b. 被験者本人について実測されたHRTF,
- c. 別の被験者の頭部形状から推定されたHRTF,
- d. 別の被験者について実測されたHRTF,

を畳み込んだものを提示し、合成した方向と被験者が回答した方向との関係を見た。その結果、本人について実測されたHRTF (上記b.)を畳み込んだものに最も近い傾向を示したのは本人について推定されたHRTF (上記a.)を畳み込んだものであり、推定結果は、主観的にも最も実測結果に近い定位傾向を示すことが示された。しかし、このような傾向は被験者によっては表れないこともあり、推定されたHRTFの主観的な有効性を明らかにするには至らなかった。

### HRTFの新しい補間手法の検討

本プロジェクト研究では、先端音情報システム研究分野にある球状スピーカアレイを用い、約100名のHRTFを計測した。これについては、HRTFの個人性を分析する上で重要なデータとなり、世界的にも例をみないものである。

しかし、HRTFの測定方向は、被測定者への負担を考えると有限である。その一方で、HRTFは、理想的には方向に対して連続的に変化するものとして得られる必要があり、測定されたHRTFから測定

されなかった方向のHRTFを得るための補間手法が望まれる。また、HRTFに含まれる情報を、個人性も含めて符号化するためには、補間も可能な手法である必要がある。本プロジェクト研究のグループでは、NTTの羽田らによって提案された共通極・零モデルに着目し、HRTFのもつ物理的な特性を直接考慮した符号化手法に着目してきた。その結果、共通極・零モデルにより、HRTFの音源方向による変化を、十分な精度を保ちながら少ないパラメータ数で補間できることが示された。この成果は、現在Acusticaに投稿中である。

### HRTFと身体特徴量との関連性に関する基礎的検討

上述の約100名分のHRTFデータベースでは、各被測定者の身体特徴量(頭部や胴体の各部位の寸法)も同時に計測されている。音源からの音が、その伝搬の過程で聴取者の耳、頭部や胴体などの影響を受けた結果として得られるものがHRTFであると考えられるので、各被測定者のHRTFは、その身体特徴量と何らかの関連性をもっているはずである。このことに関する基礎的な検討として、音像定位に重要な手掛かりとなるものの一つとして知られる両耳間時間差(Interaural Time Difference, 以下ITDと書く)と身体特徴量との関連を、正準相関分析や重回帰分析といった統計的手法を用いて分析した。その結果、HRTFの方向による変化は、従来から予想されていた頭部の外形的寸法だけではなく、鼻に関する寸法などという細部の寸法とも高い関連性をもつことが明らかとなった。また、この分析をもとにモデルを構築し、ある身体特徴量をもつ被験者のITDを予測する方法についても検討を行った。その結果、ITDを十分な精度で予測可能であり、聴取実験を通じてその有効性が確認された。

#### (3-2) 波及効果と発展性

本年度は本プロジェクトの最終年度なので、本プロジェクトに関する波及効果についてまとめて述べる。本プロジェクトの第1年度に開催された「HRTF徹底討論ワークショップ」の参加者が発表した研究成果の多くは、日本音響学会誌の英文誌 Acoustic Science & Technologyにおける2003年9月号 (Vol. 24, No. 5)の“Special issue on spatial hearing”において論文、技術報告およびLetterとして出版されるに至った。また、本プロジェクトの成果の応用対象の一つである聴覚ディスプレイについては、経済産業省の産学官連携を目指した地域コンソーシアム「聴覚ディスプレイ」として採択された。

地域コンソーシアムで開発中のアプリケーションでは、HRTFの合成が要素技術として大きな割合を占めており、HRTFに含まれる個人性の検討を行っている本プロジェクトの成果が、そのようなアプリケーションに反映されることが期待される。

本プロジェクトにおける大きな研究課題の一つは、HRTFの推定あるいは測定手法に関するものである。本プロジェクト研究では、測定手法と数値的な推定手法の両面から検討を行ってきた。推定手法においては、その主観面での有効性に若干の問題を残している。そこには、現状で利用できる計算機の計算能力の制限が存在する。しかし、個人のHRTFを測定によって得るのは、本プロジェクトで扱った球状スピーカアレイのような装置がない限り非現実的である。HRTFの個人性の符号化手法を確立するためには、推定手法と測定手法の両面から研究を行う必要があるであろう。

HRTFおよびそれに含まれる個人性の符号化手法については、HRTFのもつ物理的な特性を直接考慮した共通極・零モデルに基づいた手法が極めて有効であり、モデル化精度などの細かな課題はあるものの、概ね手法の有効性は実証されたといえる。今後の研究の進展により、HRTFがより効率的に符号化されると期待される。

HRTFと身体特徴量の関連性については、統計的な分析の結果、ITDを身体特徴量から予測する手法を提案し、その有効性を示すことができた。しかし、ITDは、HRTFの特性の一部を反映した量にすぎないことから、今後に残された課題は少くない。個人の身体特徴量からHRTFを精度よく予測する手法が確立されれば、実測手法にも、頭部形状をデータとした数値的推定手法にもよらずにHRTFを得ることが可能となり、その有効性や応用の可能性は極めて大きい。

総じて本プロジェクトは、このような個人性の符号化手法に対して、基礎的な知見を提供できたと考えられる。

#### [4]成果資料

1. Shouichi Takane, Taiyo Matsunashi and Toshio Sone, "Numerical estimation of individual HRTFs by using BEM," Proc. 18th International Congress on Acoustics, Tu5.D.2(2004).
2. 松橋太陽, 高根昭一, 安倍幸治, 曾根敏夫, 「境界要素法を用いた個人の頭部伝達関数の推定に関する検討」, 信学技報, HIP2004-74, 7-12(2004)。

3. 高根昭一, 松橋太陽, 曾根敏夫, 「3次元計測と境界要素法による個人の頭部伝達関数の推定 – 並列計算機の利用 –」, 東北大学情報シナジーセンター大規模科学計算システム広報SENAC, Vol. 38, No. 1, 29-39(2004)。
4. 松橋太陽, 高根昭一, 安倍幸治, 曾根敏夫, 「境界要素法を用いて推定した頭部伝達関数の個人性に関する検討」, 音講論, 549-550(2005)。
5. Kanji Watanabe, Shouichi Takane and Yôiti Suzuki, "A novel interpolation method of HRTFs based on the Common-Pole and Zero model," Acustica united with Acta Acustica, 投稿中。
6. 渡邊貫治, 岩谷幸雄, 行場次朗, 高根昭一, 鈴木陽一, 「身体特徴量から推定された両耳間時間差を用いた音像定位」, 音響学会聴覚研資料, Vol. 35, No. 3, H-2005-29, 167-172(2005)。